Veilig werken met 230 V

In de meeste elektronische schakelingen wordt volledig veilig gewerkt met lage spanningen. Tóch zijn er schakelingen die rechtstreeks met de 230 V netspanning zijn verbonden. In dit artikel bespreken wij hoe u ook aan deze schakelingen veilig kunt werken.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl
Publicatiedatum: 21-05-2021

Achtergrondinformatie: Waar zit het gevaar?

De elektrische weerstand van uw lichaam
Het menselijk lichaam heeft een bepaalde elektrische weerstand. Als u dus een spanningsverschil tussen twee plaatsen op uw lichaam aanbrengt, bijvoorbeeld door het met beide handen vastpakken van twee spanning voerende draden, dan zal er door uw lichaam een bepaalde stroom gaan lopen. De grootte van deze stroom is afhankelijk van de waarde van het spanningsverschil en van de grootte van uw lichaamsweerstand. Deze laatste grootheid is niet exact te definiëren, omdat deze van een aantal factoren afhankelijk is zoals:
- De vochtigheidsgraad van uw huid.
- De plaatselijke beharing van uw huid.
- De dikte van uw huid.
- De grootte van het huidoppervlak dat contact maakt met de draden.
- De afstand tussen de twee huidpunten die met de spanningen contact maken.

In droge toestand kan de huidweerstand van een mens meer dan 30 kΩ bedragen. Bij een doornatte huid neemt deze weerstand soms af tot minder dan 500 Ω.

Elektrische stroom kan gevaarlijk zijn
Uw spieren werken dank zij uiterst lage elektrische spanningen die via uw zenuwen worden aangevoerd. Het is dus logisch dat uw lichaam extreem gevoelig is voor elektriciteit. Niet de spanning is hierbij de gevaarlijke grootheid, maar de stroom die deze spanning tot gevolg heeft. Uiteraard zijn hier geen exacte gegevens over te noteren, want de ene persoon is gevoeliger voor elektrische stroom dan de andere. Tóch worden de onderstaande waarden algemeen gekoppeld aan de beschreven menselijke reacties:

- **Stromen kleiner dan 0,5 mA**
  De meeste mensen voelen dit niet.
- **Stromen van 0,5 mA tot 2,0 mA**
  Deze wekken een prikkelend gevoel op (de laagste waarde) tot een schrikreactie (de hoogste waarde). Dit laatste kan al onrechtstreeks gevaarlijk zijn omdat die schrikreactie bijvoorbeeld tot gevolg heeft dat u van een ladder valt.
- **Stromen van 2,0 mA tot 10,0 mA**
  Pijnlijke spierkrampen in uw handen en armen. Er treedt een lichte mate van spierverstijving op, maar u bent nog wel in staat uw spieren zélf te controleren, zodat u de spanning voerende geleiders nog kunt loslaten.
- **Stromen van 10 mA tot 25 mA**
  Volledige spiercontracties, u blijft 'aan de draden plakken'. De stroom blijft dus continu door uw lichaam vloeien met ademhalingsstoornissen en bewusteloosheid tot gevolg.
- **Stromen van 25 mA tot 50 mA**
  De spiercontracties zullen zich uitbreiden tot uw borst- en hartspieren, met

ademhalingsverlamming en hartkamer fibrillatie tot gevolg. Uw hersenen komen snel zonder zuurstof te zitten met alle gevolgen van dien.

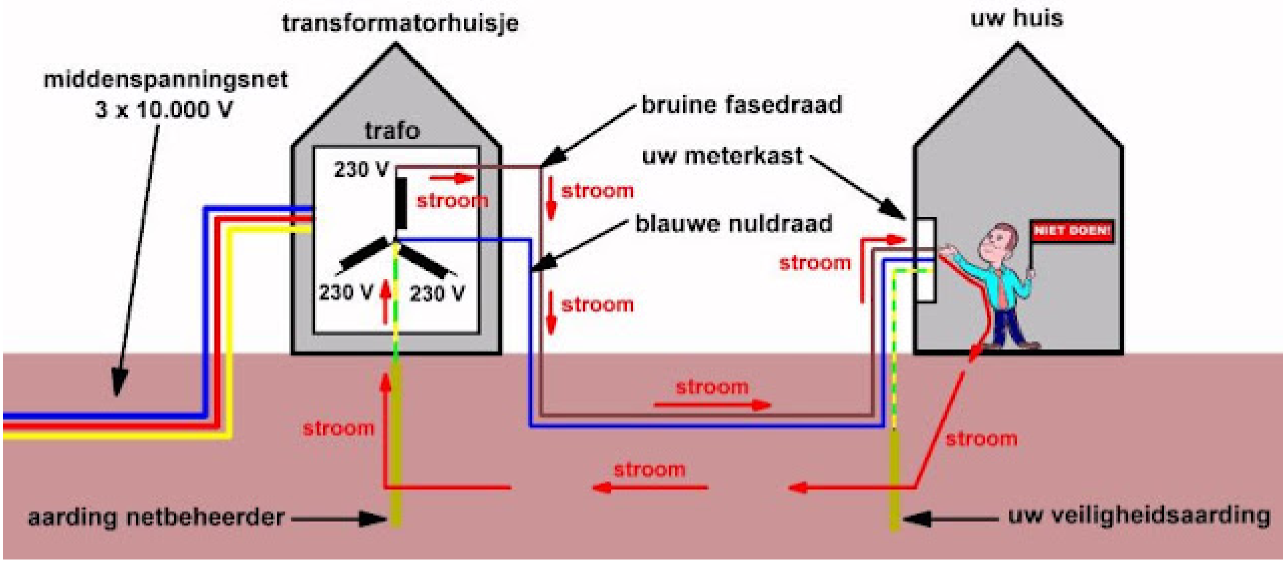
- **Stromen van 50 mA tot 1.000 mA**
  Onmiddellijk volledig uitvallen van uw hartfuncties met de dood tot gevolg. Uw huid begint te verbranden als gevolg van het door de stroom gegenereerde thermische vermogen in uw huidweerstand.
- **Stromen groter dan 1.000 mA**
  Zeer ernstige brandwonden, zowel inwendig als op de huid. Uw lichaamsvloeistoffen beginnen te koken. Onmiddellijke dood als gevolg van een groot aantal factoren die uw lichaamsfuncties volledig ontregelen.

Wat is een absoluut veilige spanning?
Ook dat is moeilijk precies te definiëren. Algemeen wordt wisselspanning aanraak veilig geacht tot slechts 50 V. Voor gelijkspanning bedraagt deze waarde 120 V. Deze spanningen zijn in Nederland gedefinieerd als aanraak veilig in het normblad NEN 3140.

De '*één-hand-op-de-rug*'-regel
In ieder geval is de netspanning van 230 V niet aanraak veilig! Het is dus niet verstandig om te meten of te werken aan onder netspanning staande schakelingen. Soms kunt u dat echter niet vermijden en dan moet u de '*één-hand-op-de-rug*'-regel absoluut opvolgen. Door de linker hand op de rug te houden en alleen met de rechter hand te werken (of vice versa voor de linkshandigen) is het vrijwel uitgesloten dat u in aanraking komt met twee spanning voerende geleiders. In het slechtste geval krijgt u een stroom tussen twee vingers van uw hand en hoewel dat zeer pijnlijk aanvoelt is dat niet levensgevaarlijk.

De aarde als verborgen elektrische geleider
Vreemd genoeg kunt u echter ook een dodelijke stroom door uw lichaam krijgen door maar één elektrische geleider aan te raken. Dat komt doordat de vloer waarop u staat in de meeste gevallen een erg goede geleider is voor de elektrische stroom en uw voeten dus als het ware voortdurend contact maken met een tweede elektrische geleider. De meeste schoenzolen zijn écht geen goede isolatoren! Die vloer zit bovendien verankerd in de aarde en ook die aarde is een goede elektrische geleider. Kijk maar eens op YouTube naar video's van hoogspanningskabels die afgebroken zijn en op de aarde zijn gevallen. Wat een vuurwerk!

De aarde hangt aan de netspanning
Nu zou dat nog geen ramp zijn als de elektriciteitsmaatschappijen en niet voor gezorgd hadden dat de 230 V netspanning die zij aan u leveren in contact staat met de aarde. Hoe dat zit is voorgesteld in onderstaande figuur.
De 230 V netspanning die u in uw huis krijgt wordt gegenereerd in een transformatorhuisje dat ergens in uw buurt staat. In dat huisje staat een grote trafo die de 3 x 10.000 V van het middenspanningsnet omzet in 3 x 230 V die via een heleboel kabels naar alle huizen in de buurt gaan. In het transformatorhuisje wordt één van de 230 V aders om nogal ingewikkelde redenen aan de aarde gelegd via een diep in de grond gedreven metalen staaf. De ader die niet aan de aarde ligt noemt men de '***fasedraad***' en deze is, per definitie, bruin gekleurd. De ader die aan de aarde ligt noemt men de '***nuldraad***' en deze is, per definitie, blauw gekleurd.



Hoe de 230 V aan uw huis wordt afgeleverd. (© 2021 Jos Verstraten)

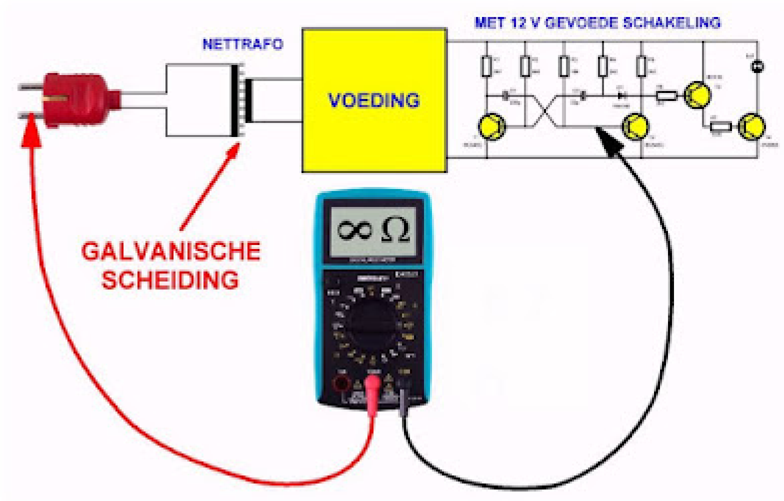
Wat gebeurt er als u de fasedraad aanraakt?
In de tekening is met de rode pijltjes aangegeven wat er gebeurt als u per ongeluk de bruine fasedraad aanraakt met één hand. Er wordt dan een gesloten stroomkring gevormd van de trafo in het transformatorhuisje, over de grondkabel naar uw huis, via de meterkast naar uw lichaam en via uw schoenen, de geleidende vloer van uw woning en de aarde terug naar de transformator in het transformatorhuisje. Deze stroom kan levensgevaarlijk zijn en het '*één-hand-op-de-rug*'-principe biedt dan geen veiligheid. **Ook met slechts één hand actief kunt u zichzelf elektrocuteren!**

Uw veiligheidsaarding
Voor de volledigheid hebben wij in de tekening ook nog de veiligheidsaarding van uw huis ingetekend. De veiligheidsaarding is een dikke draad die rechtstreeks naar een aardingsstaaf gaat die zo diep in de grond is geplaatst dat zij altijd in het grondwater staat. U moet alle metalen delen van machines en apparaten in uw huis aansluiten op deze veiligheidsaarding. Dat doet u met de groen/gele aardingsaders en de geaarde stopcontacten die overal in uw huis aanwezig zijn (als het goed is). Dit systeem voorkomt dat u onder spanning komt te staan als u een apparaat aanraakt waarin een isolatiedefect in de faseleiding aanwezig is waardoor de metalen behuizing met de fasespanning wordt verbonden. De kortsluitstroom die dan gaat vloeien zal vrijwel direct de aardlek automaat in uw meterkast uitschakelen, zodat het aanrakingsgevaar wordt voorkomen.

Het gevaar bij werken in elektronische schakelingen

Het begrip '*galvanische scheiding*'
De meeste elektronische schakelingen worden gevoed uit lage gelijkspanningen. Deze spanningen komen uit een netvoeding waarin altijd een transformator aanwezig is. Die transformator zorgt ervoor dat alle punten en alle onderdelen in de schakeling '*galvanisch gescheiden*' zijn van het 230 V netspanning. Wat betekent dit? Als u, zoals getekend in de onderstaande figuur, met uw ohmmeter meet tussen een van de pinnen van de netstekker van het apparaat en gelijk welk punt in de schakeling, dan zult u steeds een oneindig hoge weerstand meten (∞ Ω).
Met andere woorden: als u een punt in de schakeling met één vinger aanraakt, dan kan er geen stroom door uw lichaam vloeien omdat er tussen dat punt en de aarde een oneindig hoge weerstand staat. U werkt volledig veilig in een dergelijke schakeling.
De '*galvanische scheiding*' die de oneindig hoge weerstand veroorzaakt is een gevolg van het feit dat er in iedere trafo twee volledig gescheiden wikkelingen aanwezig zijn, waartussen geen elektrische verbinding bestaat. De energie-overdracht van het net naar de schakeling komt uitsluitend tot stand via het magnetisch veld dat in de metalen kern van de trafo wordt

gegenereerd.

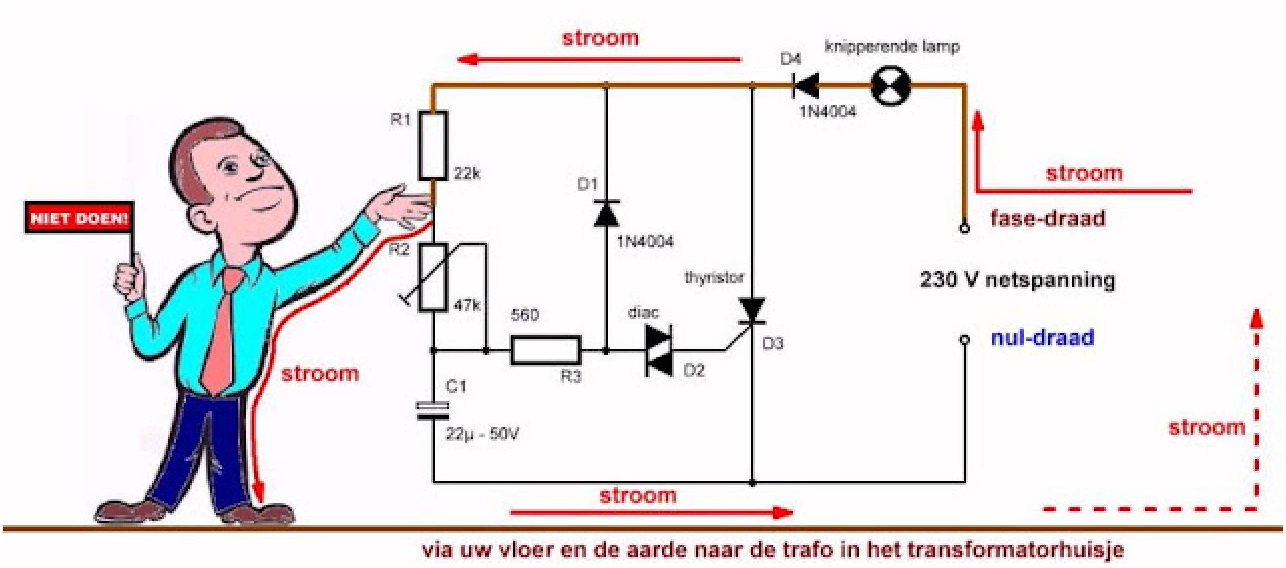


In de meeste elektronische apparaten zorgt de nettrafo voor een galvanische scheiding. (© 2021 Jos Verstraten)

Een heel ander verhaal: rechtstreeks netgevoede schakelingen

Soms ontkomt u er niet aan een schakeling galvanisch te verbinden met de netspanning. Denk hierbij bijvoorbeeld aan triac-schakelingen die het geleverde vermogen van de netspanning regelen. Dan bestaat er een elektrisch geleidende verbinding tussen ieder punt van de schakeling en de pennen van de netstekker. In de onderstaande figuur is een voorbeeld van zo'n schakeling getekend. Dat is een eenvoudige schakeling voor het laten knipperen van 230 V lampen. U ziet dat er geen nettransformator aanwezig is, maar dat de twee aansluitingen van het net, de fase en de nul, rechtstreeks naar de onderdelen van de schakeling gaan.

Wat kan er dan gebeuren? In dit voorbeeld is de schakeling toevallig zó met het 230 V net verbonden dat de fasedraad naar de knipperende lamp gaat. Via dit onderdeel met een zeer lage weerstand gaat de fase naar de diode D4, ook laagohmig. Vandaar gaat de fase via de laagohmige weerstand R1 naar een soldeereilandje dat u per ongeluk aanraakt met uw ene hand. Er vloeit nu van dat punt een vrij grote stroom door uw lichaam, die afvloeit via uw vloer en de aarde waarop uw huis staat naar het aardingspunt in het transformatorhuisje. Hoe een leuke knutselhobby opeens levensgevaarlijk blijkt te zijn!

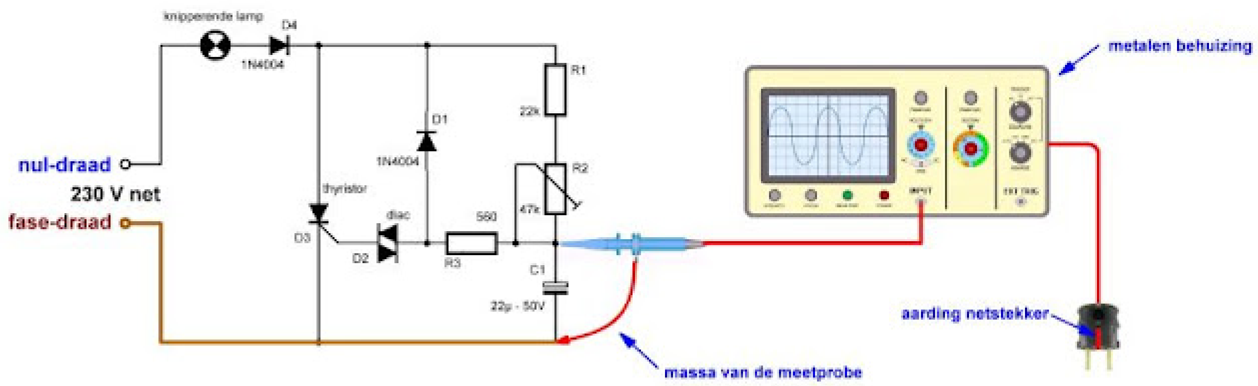


Vrijwel alle punten in deze rechtstreeks netgevoede schakeling zijn aanraak gevaarlijk. (© 2021 Jos Verstraten)

Ook uw apparatuur kan zwaar beschadigd worden

In het vorig voorbeeld krijgt u in het gunstigste geval een flinke elektrische schok en gebeurt

er verder niets. Als u echter meetapparatuur op een dergelijke schakeling aansluit en niet goed nadenkt kan er van alles en nog wat mis gaan. Als u meet in dergelijke schakeling dan kunt u namelijk zware kortsluitingen veroorzaken die waarschijnlijk het einde van uw dure apparatuur betekenen. Dat wordt verklaard aan de hand van de onderstaande figuur. Hier hebben wij dezelfde knipperschakeling als voorbeeld genomen. Stel dat u met uw oscilloscoop de spanning over de condensator C1 wilt bewonderen. U sluit de meetprobe van uw scope dan aan op het knooppunt tussen de condensator C1 en de weerstand R2. De afscherming van de probe sluit u dan natuurlijk aan op de andere pool van de condensator. Dit punt gaat echter rechtstreeks naar een van de draden van het net. Dat kan dus de fasedraad zijn.
Deze wordt dan rechtstreeks verbonden met de afscherming van de meetprobe en via de BNC-connector op de scope ook met het metalen chassis van het meetapparaat. De oscilloscoop wordt echter via een geaarde stekker met een wandcontactdoos verbonden, waardoor het metalen chassis van het apparaat ook aan de aarde ligt. U vormt dus een pracht van een kortsluiting tussen de fase van het net en de aarding in uw huis! Het gevolg is dat er een zeer hoge stroom gaat lopen door de afscherming van uw meetprobe en allerlei chassisdelen in uw scope. In het gunstigste geval schakelt alleen een aardlekschakelaar in uw meterkast uit, in het ongunstigste geval krijgt uw scope zo'n stroompuls te verwerken dat gevoelige schakelingen defect raken en u het apparaat naar de sloop kunt brengen.



Meten in apparaten die rechtstreeks uit het net worden gevoed kan prachtige kortsluitingen veroorzaken. (© 2021 Jos Verstraten)

Dan maar geen geaarde stekker aan uw scope?
Sommige hobbyisten denken slim te zijn door de geaarde stekkers van hun meetapparatuur te slopen en te vervangen door niet-geaarde stekkers. De massa's van alle apparaten worden immers tóch via de schakeling waarin gemeten wordt met elkaar verbonden. Maar in de getekende situatie komt dan het chassis van uw oscilloscoop op de fase-spanning van het net te staan en krijgt u een optater als u een metalen knop op het apparaat wilt verdraaien. Niet doen, dus!

Het veilig werken met de 230 V netspanning

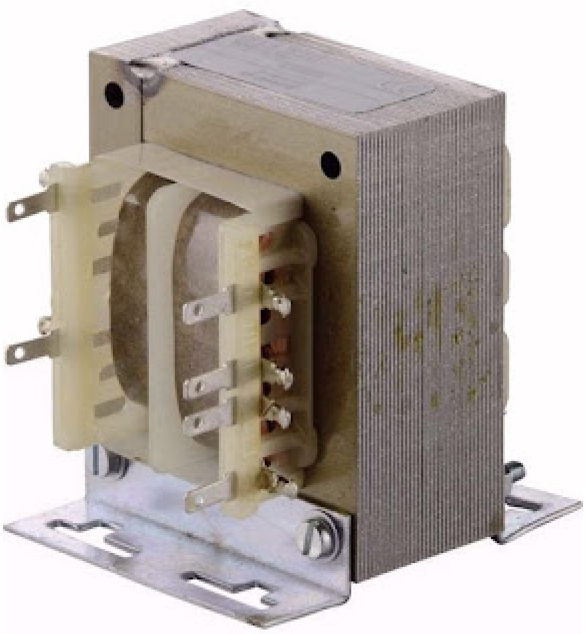
Op galvanisch scheiden komt het aan!
Uit de besproken praktijksituaties kunt u afleiden wat de oorzaak van alle ellende is: de geleidende verbinding tussen een van de aders van de netspanning en het punt in een schakeling dat u aanraakt of waarop u meetapparatuur aansluit.
Om problemen te voorkomen moet u er dus voor zorgen dat die geleidende verbinding niet meer bestaat en dat er sprake is van een galvanische scheiding. Hiervoor staan twee apparaten ter beschikking:

- De scheidingstrafo.
- De differentiële meetprobe.

Het toepassen van een scheidingstrafo

Wat is een scheidingstrafo?
Een scheidingstrafo is een ouderwetse trafo, dus met ijzeren kern en uit koperen wikkeldraad bestaande spoelen, die twee exact identieke wikkelingen bevat. Als u dus op de ene primaire wikkeling de netspanning van 230 V zet, dan zal er over de andere secundaire wikkeling precies dezelfde spanning ontstaan. Tussen beide spanningen bestaat echter een perfecte galvanische scheiding. De elektrische energie wordt immers uitsluitend via het magnetisch veld in de ijzeren kern overgedragen.
Als u uw schakeling niet op de netspanning aansluit maar op die secundaire spanning, dan merkt uw schakeling geen verschil maar u en uw meetapparatuur des te meer.

Twee gescheiden compartimenten
In de onderstaande foto ziet u een scheidingstrafo van Elma. De primaire en secundaire wikkelingen zijn in twee volledig van elkaar gescheiden kamers gewikkeld, zodat de galvanische scheiding onder alle omstandigheden is gegarandeerd. De secundaire kant bestaat uit twee wikkelingen van 115 V die u in serie kunt schakelen.
Elma maakt dergelijke trafo's met vermogens van 30 VA tot 500 VA. VA kunt u in dit kader beschouwen als de wisselstroom indicatie van het vermogen dat de trafo kan leveren in watt. 500 VA komt dus ongeveer overeen met 500 W. Voor de kleinste uitvoering betaalt u ongeveer € 20,00, voor de zwaarste een sappige € 80,00.
De hoge prijs is zonder meer het nadeel van dergelijke trafo's. Behalve duur zijn zij ook zwaar. Het 500 VA type weegt 6,9 kg!



Een 500 VA scheidingstrafo van Elma. (© Conrad)

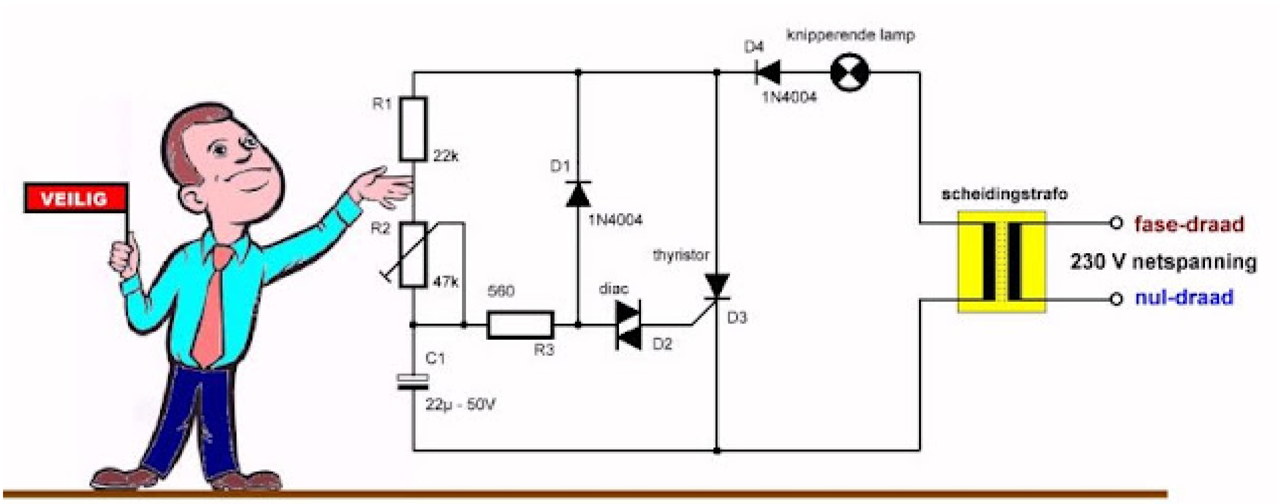
Welk vermogen kiezen?
Wij raden iedere elektronica hobbyist aan te investeren in een scheidingstrafo. Maar welke moet u kiezen? Elma biedt vier versies aan met vermogens van 30 VA, 65 VA, 240 VA en 500 VA. De prijzen lopen snel op. U moet er rekening mee houden dat de trafo in staat moet zijn het volledig vermogen te leveren dat het aangesloten apparaat, mét zijn belasting, vraagt. Wilt u bijvoorbeeld gaan meten in een werkende halogeen dimmer die een staaflampje van 400 W bedient, dan moet de scheidingstrafo ook die 400 W kunnen leveren.

Van trafo tot mooi apparaatje
Natuurlijk kunt u de voorgestelde trafo niet open en bloot gaan gebruiken, dat is te aanraak gevaarlijk. U, als rechtgeaarde doe-het-zelver, bouwt die trafo uiteraard in een mooie behuizing in. De onderstaande foto geeft een voorbeeld hoe zo'n apparaatje er uit kan zien.



Op deze manier kunt u een scheidingstrafo omvormen tot een mooi apparaatje voor uw hobby-lab. (© 2021 Jos Verstraten)

Het voordeel van het gebruik van een scheidingstrafo
Dat zal, na de uitgebreide uitleg in de vorige paragraafjes, wel duidelijk zijn. Als u een rechtstreeks uit het net gevoede schakeling nu via de scheidingstrafo voedt, dan wordt iedere galvanische verbinding tussen die schakeling en het net verbroken, kan er nooit een gesloten stroomlus naar het net ontstaan en spaart u uw meetapparatuur en uw lichaam.

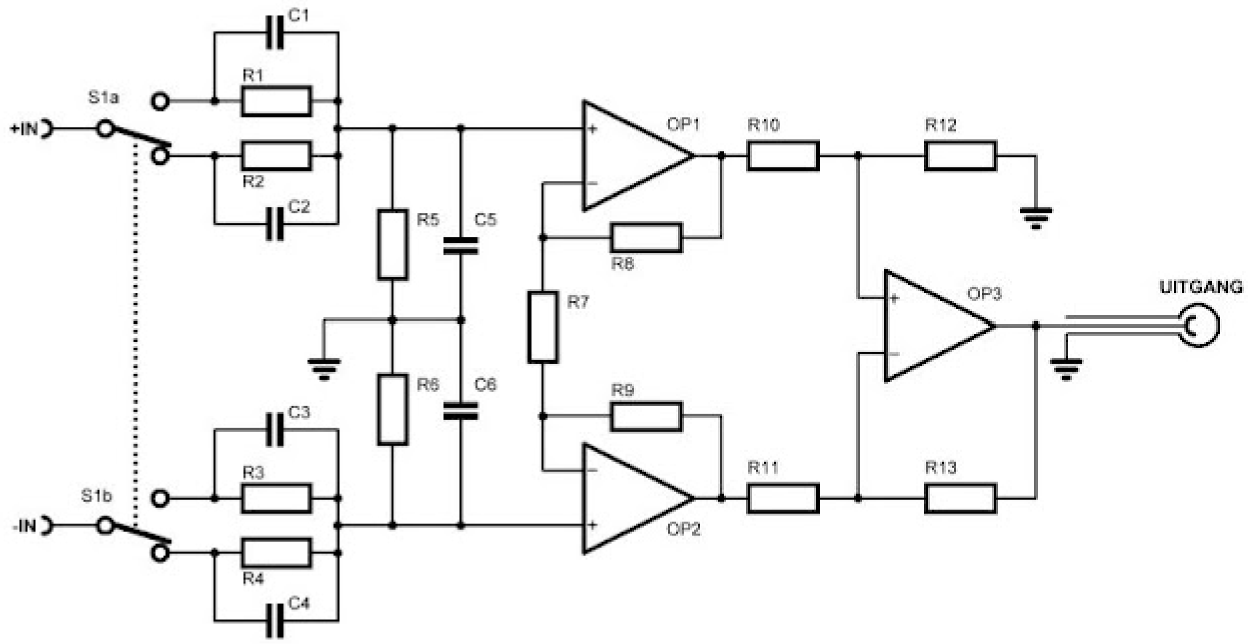


Door het voeden van de schakeling via een scheidingstrafo kan er geen lichaamsstroom via de vloer afvloeien naar de aarde. (© 2021 Jos Verstraten)

Het toepassen van een differentiële meetprobe

Wat is een differentiële meetprobe?
De ingang van uw oscilloscoop is een BNC-connector, waarvan de afscherming aan het chassis van het apparaat hangt en via dit chassis ook aan de aarding van de netstekker. Op die BNC-connector sluit u via een afgeschermde kabel uw oscilloscoop probe aan. De afscherming van de probe is dus verbonden met de aarding in uw huis. Door dit verschijnsel kunnen de besproken problemen ontstaan. Als het gebruik van een scheidingstrafo om de een of andere reden niet mogelijk is, bijvoorbeeld omdat het vermogen van dit onderdeel te klein is, dan kunt u veilig meten in galvanisch met het net verbonden schakelingen door gebruik te maken van een differentiële meetprobe. Het blokschema van zo'n probe is

getekend in de onderstaande figuur.



Het blokschema van een differentiële probe. (© 2021 Jos Verstraten)

Een differentiële probe is in wezen niets meer dan een uitgebreide versie van een verschilversterker. Het apparaat heeft twee ingangen, een positieve +IN (rood) en een negatieve -IN (zwart). U sluit deze twee ingangen aan op de twee punten waartussen u het spanningsverschil wilt meten. De uitgang sluit u aan op de BNC-connector van uw oscilloscoop. De schakeling berekent het spanningsverschil tussen beide meetspanningen en zet dit verschil, tien of honderd maal verzwakt, als naar de massa gerefereerde spanning op de uitgang. Tussen de ingangen en de uitgang staat een weerstand van minstens 4 MΩ. Dat zijn de weerstanden R1 tot en met R6 in het schema.
Hoewel dus, zuiver theoretisch, geen sprake is van een absolute galvanische scheiding tussen de ingangen en de uitgang, komt het daar in de praktijk wél op neer. Stel dat u een van de ingangen verbindt met de fase van de 230 V netspanning en dat u vervolgens een metalen knop op uw oscilloscoop aanraakt. Dan vloeit er maximaal een stroom van 230 V gedeeld door 4 MΩ is gelijk aan 0,000.058 A ofwel 58 µA door uw lichaam. U kunt dus met tussen schakeling van een differentiële probe zonder gevaar in netgevoede schakelingen meten met uw oscilloscoop.

Uitvoering van een differentiële probe
Er zijn uiteraard diverse differentiële probes in de handel. Zij zien er echter allemaal ongeveer hetzelfde uit, zie de onderstaande foto. Dit is de DP10007 van Micsig. Links ziet u de uitgang van de probe, een afgeschermde kabel die u op de BNC-connector van uw oscilloscoop aansluit. Rechts ziet u de twee differentiële ingangen die u aansluit op de punten in uw schakeling waartussen de spanning staat die u zichtbaar wilt maken. Dit hoeven geen afgeschermde kabeltjes te zijn, het differentiële principe heeft als voordeel dat 50 Hz netspanningsbrom die op beide kabeltje in gelijke mate terecht komt automatisch wordt verwijderd uit het meetsignaal.



De differentiële probe DP10007 van Micsig. (© Banggood)

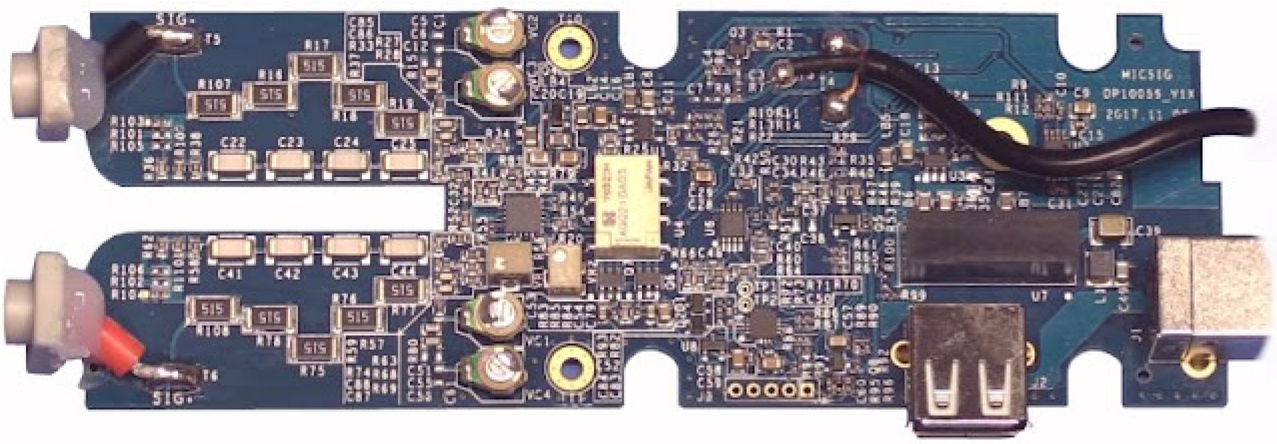
De verschillen tussen de probes
De prijzen van de diverse te koop aangeboden probes lopen erg uit elkaar:
- Hantek HT8050: € 125,00
- Micsig DP10007: € 120,00
- Micsig DP20003: € 199,00
- Pintek DP-65: € 369,00
- Testec SI-9001: € 400,00
- Testec SI-9010: € 980,00

Deze grote verschillen worden voornamelijk veroorzaakt door de volgende parameters:

- **Bandbreedte**
  De goedkoopste probes hebben een bandbreedte van slechts 40 MHz, de duurdere gaan tot 100 MHz.
- **Maximale spanning tussen de ingangen**
  Alle probes hebben een omschakelaar waarmee u de verzwakking van de probe kunt omschakelen tussen twee waarden. Soms is dan 10/1 en 100/1, soms 50/1 en 500/1, soms 200/1 en 2.000/1. Hoe groter de verzwakking, hoe hoger de toegelaten spanning tussen de ingangen.
- **Voedingsspanning**
  Sommige modellen zijn batterij gevoed, wat uiteraard erg goedkoop is. Andere modellen kunt u met een kabeltje aansluiten op een USB-adapter. In het apparaat moet dan elektronica aanwezig zijn die uit deze +5 V spanning symmetrische voedingsspanningen maakt die bovendien galvanisch gescheiden zijn van de +5 V. Dat laatste vergt kleine trafootjes en extra elektronica en dit kost erg veel geld.
- **Afschermingen**
  Bij de goedkope uitvoeringen zit de elektronica op een print die onafgeschermd in de kunststof behuizing ligt. De ontwerpers gaan er dan van uit dat het differentiële meetprincipe alle opgepikte stoorsignalen wegfiltert. Bij de duurdere modellen zijn diverse deelschakelingen volledig ingeblikt om zo weinig mogelijk stoorsignalen op te pikken.

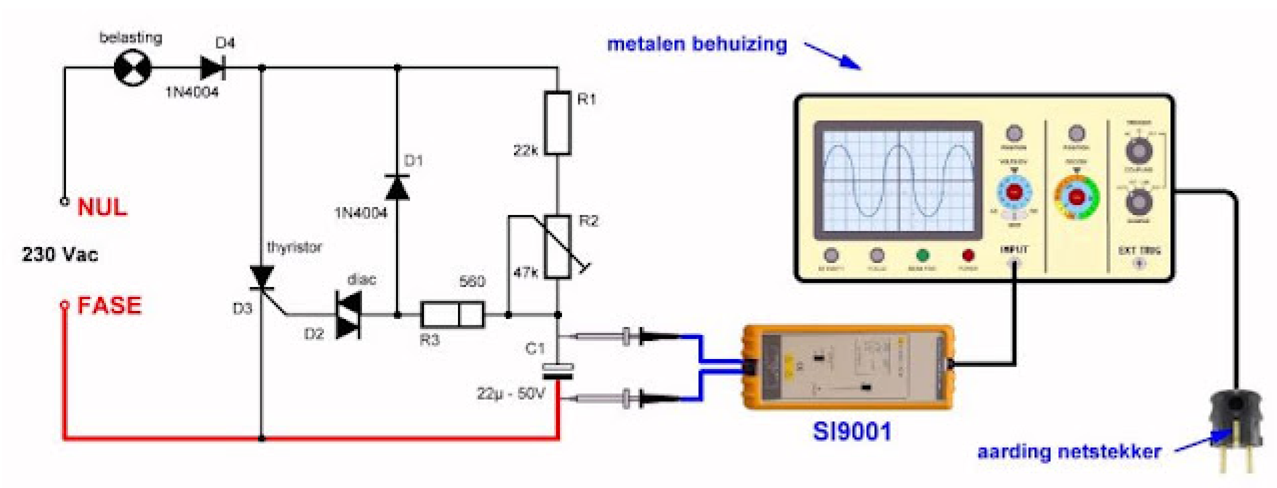
Het interne van een typische differentiële probe
In de onderstaande foto ziet u de print van de DP20003 van Micsig. De twee ingangsschakelingen zijn door een grote luchtspleet van elkaar gescheiden, er kan dus nooit spanningsoverslag tussen beide ingangen plaatsvinden. De hoogohmige ingangstrappen zijn uitgevoerd door diverse weerstanden in serie te schakelen. Iedere weerstand is overbrugd door een condensator om het frequentiebereik van de probe te optimaliseren. Door middel

van capaciteitstrimmers kan de doorlaatband van deze verzwakkers worden geoptimaliseerd.



Het interne van de DP20003 van Micsig. (© SDG Electronics)

Het werken met een differentiële probe
In de onderstaande figuur is weergegeven hoe u met een differentiële probe meet in schakelingen die galvanisch met het net zijn verbonden. Zet de probe tussen de meetschakeling en uw scoop en alle problemen en levensgevaarlijke situaties zijn in één klap verdwenen. De 2 x 4 MΩ ingangsweerstanden van dit apparaat zorgen voor een adequate scheiding tussen de fasespanning, uw meetapparatuur en uzelf.



Hoe u veilig in netgevoede schakelingen meet. (© 2021 Jos Verstraten)